

(6) Japanese Patent Application Laid-Open No. 57-162340 (1982):

“Annealing Method for Silicon Semiconductor”

The following is an English translation of the abstract of the above application.

Nine flashing light discharge lamps 3 are closely arranged in zigzag shape as illustrated in Fig. 2 where five lamps are disposed in a plane S_1 and four lamps are disposed in a plane S_2 . This flashing light discharge lamp group consisting of nine flashing light discharge lamps forms a flashing light plane light source of about $50\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ in size. A plane mirror 4 is disposed in a plane S_3 close to the plane S_2 . A sample table 5 that can be preheated by a heater and the like is arranged to be apart from the light source about 10 mm ($= H$), thereby forming an annealing furnace as a whole.

⑬ 日本国特許庁 (JP)

⑭ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報 (A)

昭57—162340

① Int. Cl.³
H 01 L 21/324

識別記号

庁内整理番号
6851—5F

⑬ 公開 昭和57年(1982)10月6日

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 8 頁)

⑭ シリコン半導体のアニール方法

⑯ 発明者 五十嵐龍志

姫路市別所町佐土字春日1194番
地ウシオ電機株式会社播磨工場
内

⑰ 特 願 昭56—46256

⑱ 出 願 昭56(1981)3月31日

⑲ 発明者 荒井徹治
姫路市別所町佐土字春日1194番
地ウシオ電機株式会社播磨工場
内

⑳ 出 願 人 ウシオ電機株式会社
東京都千代田区大手町2丁目6
番1号朝日東海ビル19階

明 細 書

1. 発明の名称 シリコン半導体のアニール方法
2. 特許請求の範囲

あらすじめ温度 T_A (°C) に予備加熱されたシリコン半導体と、閃光放電灯からの閃光照射でアニールするにあたり、シリコン半導体の反射率 \tilde{R} 、閃光のパルス巾 ($\frac{1}{2}$ 波高長) を t (ナノ秒)、シリコン半導体上における照射強度を E (ジュール/cm²) とした時、 t が、 $70 \leq t \leq 780$ の範囲であつて

$$2.3 \times 10^{-3} \leq t \leq \frac{(1-\tilde{R})E}{1410 - T_A} \leq 3.8 \times 10^{-3} \text{ 秒}$$

なる関係が維持される条件でアニールすることと特殊とするシリコン半導体のアニール方法。

3. 発明の詳細な説明

本発明は、シリコン半導体のアニール方法に関する。

シリコン半導体と基板として、種々の IC、LSI 等と製作する場合、不純物イオンとしてリン (P)、硼素 (B)、砒素 (As) 等を高エ

ネルギーでイオン打ち込みすることが行われる。この場合、良く知られているように、シリコン半導体に結晶損傷が生ずるので、このイオン打ち込み工程後、必ず結晶損傷回復のためのアニール工程が必要とする。

従来、このアニール工程では、電気炉法とレーザービーム法とが知られているが、いずれも実用上問題が多く、ごく最近では、閃光放電灯による閃光照射と利用することが検討されている。

閃光放電灯は周知の如く、一般には、ガラス製、特殊なものでは石英セラミック製の封体バルブを有し、閃光照射の強度を大きくすると閃光放電灯の使用寿命が著しく短くなる欠点があるとともに、シリコン半導体の表面は半導体も高くするために表面加工されているので、シリコン半導体上における照射強度を定めるだけで、必ずしも良好なアニールは実行できない。例えば、ドーピング効率が 45% 以上のアニールに閃光放電灯の照射のみで実行しようとするとは実際にかなりの困難となる。

上記理由から、マニールための昇温エネルギーを全部閃光放電灯からの閃光照射によることと避け、あらかじめある温度まで予備加熱しておいて比較的閃光照射の強度が小さく済むよう甘予備加熱方式(サニールマニール法)を併用し、更に、シリコン半導体の反射率を考慮しなうえで閃光照射の強度と定めに方がよい。

ところで、反射率 \tilde{R} を有するシリコン半導体は、パルス巾(半波高長)と(マイクロ秒)の閃光でシリコン半導体上における照射強度 E (ジュール/cm²)と与えると、シリコン半導体の表面の上昇温度は、パルス巾がおおよそ50マイクロ秒以上では、近似的に次式で与えられる。

$T(^{\circ}\text{C}) = \alpha \cdot (1 - \tilde{R}) \cdot E \cdot t^b \dots\dots (1)$
式(1)において、 α はその物質の特定の温度における、熱伝導率、密度、比熱等で定まる定数、 $(1 - \tilde{R}) \cdot E$ は、その物質に吸収された単位面積当りのエネルギーである。したがって、マニール温度の上限度を T_H 、予備加熱された温度を T_A とすると、閃光照射によって昇熱して得られる温度差は、

$$2.3 \times 10^{-3} t^{0.27} \leq \frac{(1 - \tilde{R}) \cdot E}{1410 - T_A} \leq 3.8 \times 10^{-3} t^{0.28}$$

はる関係が維持される条件でマニールすることにある。

以下図面を参照しながら本発明の実施例を説明する。

第1図は本発明に使用する閃光放電灯の説明図であって、1は一对の電極、2は封体バルブであって、アーク長 L は40mm、バルブ内径 ϕ は8mm、外径は10mmの寸法を有する直管状のものとする。この閃光放電灯を、第2図に示すように、平面 S_1 内に5本、平面 S_2 内に4本、合計9本が手ドリ状に密着して配置され、この9本の閃光放電灯群によって、約50mm×40mmの閃光面光源の形成されるように配置する。そして、平面ミウ-4と、平面 S_2 に近接した平面 S_3 内に配置し、ヒーターで予備加熱できるようにした試料台5と、光源から約10mm(=H)離間して配置して、全体をマニール炉として構成する。

第2図のマニール炉において、シリコン半導

$T_H - T_A = \alpha \cdot (1 - \tilde{R}) \cdot E \cdot t^b \dots\dots (2)$
の式で与えてよい。そして更に、式(2)を変形して α を α' 、 b を b' と置き替えると、

$$(1 - \tilde{R}) \cdot E = (T_H - T_A) \cdot \alpha' \cdot t^{b'} \dots\dots (3)$$

もしくは

$$\frac{(1 - \tilde{R}) \cdot E}{T_H - T_A} = \alpha' \cdot t^{b'} \dots\dots (4)$$

としてよい。

本発明に係る観点から、予備加熱温度、反射率、パルス巾、照射エネルギー等の要因を考慮しなうえてドーピング効率が45%以上で、良好なシリコン半導体のマニール方法を提供することとを目的としてなされたものである。その特徴とするところは、あらかじめ温度 $T_A(^{\circ}\text{C})$ に予備加熱されたシリコン半導体を閃光放電灯からの閃光照射でマニールすることによって、シリコン半導体の反射率 \tilde{R} 、閃光のパルス巾(半波高長)と t (マイクロ秒)、シリコン半導体上における照射強度 E (ジュール/cm²)とした時、 t が70から780の範囲であって、

炉のウエハー6は、試料台上に配置されることにはなるが、ウエハー上における照射強度 E (ジュール/cm²)及びパルス巾 t (マイクロ秒)は、閃光放電灯に供給される電気入力及び電気回路条件と変えることにより、また予備加熱温度 $T_A(^{\circ}\text{C})$ はヒーターの温度と変えることにより、種々の値を選択でき、マニール実験に供したウエハーは、結晶模様の深さが大体0.2 μm ~1.0 μm 、ウエハーの厚みは、300 μm ~650 μm のものでサンプルとしている。

第3図は予備加熱温度 T_A 、照射エネルギー E 、パルス巾 t を変えて測定した7つの実験結果と、 α' 軸と t 、 b' として整理したものである。X印はマニール不足を示し、O印はマニール良好を示し、 t が70~780の範囲内で、直線 X_1 と X_2 との間の区域が、良好なマニールが出来ることを示している。そして、このデータの数値にもとより適当なように式(5)の定数 T_H および α' 、 b' を求め、 $T_H = 1410(^{\circ}\text{C})$ 、 X_1 における $\alpha' = 2.3 \times 10^{-3}$ 、 $b' = 0.27$ 、 X_2 における

$a' = 3.8 \times 10^{-3}$, $b' = 0.28$ と決定した。又、反射率 \bar{R} は、式(5)で定義している。

$$\bar{R} = \frac{\int R(\lambda) \cdot I(\lambda) d\lambda}{\int I(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

このにおいて、入射波長、 $R(\lambda)$ は λ における反射率、 $I(\lambda)$ は λ における閃光の強度である。

以下、個々のアニール実験の代表的例を説明する。

(1) ヒソヒ加速エネルギー 50 keV で、 5×10^{15} 個/cm² 打ち込んだ、反射率 \bar{R} が 0.45 のウエハを 550°C に予備加熱しておき、このウエハを、 $t = 50$, $E = 15.6$ の閃光で照射した場合、ドープン効率 η が 40% となり、アニール不足が生ずる。同様に、 t が 50 以下、その他予備加熱の温度、与える E に変えて実験でもドープン効率 η が更に下がり、アニール不足が見られる。

(2) リンヒ加速エネルギー 50 keV で、 2×10^{15} 個/cm² 打ち込んだ、反射率 \bar{R} が 0.46 のウエハを 350°C に予備加熱しておき、このウエハを、 $t = 70$, $E = 20.0$ の閃光で照射した場合、ドープン

ウエハの「ソリ」もよく、良好なアニールが得られる。

(3) 上記(2)と同じウエハを、予備加熱 300°C とし、 $t = 780$, $E = 29$ の閃光で照射すると、ドープン効率 70% で「ソリ」もよく、良好なアニールとなる。

(4) リンヒ加速エネルギー 50 keV で、 5×10^{15} 個/cm² 打ち込んだ、反射率 \bar{R} が 0.5 のウエハを予備加熱 500°C とし、 $t = 1000$, $E = 33$ の閃光で照射した場合、ウエハが変形し、後工程で不良と見られる。

(5) ヒソヒ加速エネルギー 100 keV で、 1×10^{15} 個/cm² 打ち込んだ、反射率 \bar{R} が 0.39 のウエハを、あらかじめ 500°C に予備加熱しておき、 $t = 150$, $E = 18$ の閃光で照射すると、ドープン効率が 90% となり、非常に良いアニールができる。

ホウソウヒ加速エネルギー 50 keV で 5×10^{15} 個/cm² 打ち込んだ、反射率 \bar{R} が 0.5 のウエハを、予備加熱 500°C とし、 $t = 400$, $E = 27$ の閃光で照射すると、ドープン効率は 75% となる。

ン効率 η は 90% である(アニール良好)。

(6) 上記(2)と同じウエハを、予備加熱 500°C, $t = 70$, $E = 12.2$ の閃光で照射すると、ドープン効率は 50% であり、十分実用に供しうるものが得られる。

(7) ホウソウヒ加速エネルギー 50 keV で、 5×10^{15} 個/cm² 打ち込んだ、反射率 \bar{R} が 0.41 のウエハを 600°C に予備加熱しておき、このウエハを $t = 400$, $E = 30$ の閃光で照射すると、ウエハの表面が溶融して 0.1~0.3 μ m の凹凸が生じ、表面クラックも発生する(アニール不良)。

(8) ヒソヒ加速エネルギー 100 keV で 2×10^{15} 個/cm² 打ち込んだ、反射率 \bar{R} が 0.39 のウエハを、予備加熱 400°C とし、 $t = 150$, $E = 13.5$ の閃光で照射すると、ドープン効率は 42% と低い(アニール不良)。

(9) リンヒ加速エネルギー 50 keV で 5×10^{15} 個/cm² 打ち込んだ、反射率 \bar{R} が 0.46 のウエハを、予備加熱 540°C とし、 $t = 780$, $E = 39.5$ の閃光で照射すると、ドープン効率が 100% となる。

(アニール良好)。

以上の代表的例及び他の多くの実験から、直線 X_2 を越える区域では、大体において、凹凸、クラック、「ソリ」、ヤブ等が不良と見られ、直線 X_1 に満たない区域では、ドープン効率で 45% に満たず、 t が 70~780 の範囲で、 X_1 と X_2 との間でみれば、ドープン効率 45% 以上でかつ、物理的変形もよく、良好なアニールが達成される。

本発明は以上の説明からも理解されるように、イオン打ち込み後の半導体シリコンのアニールをするにあたって閃光放電からの閃光照射を利用するものであるが、サマールアシスト法を用い、予備加熱温度、ウエハの反射率、閃光のパルス巾、照射エネルギー等とを調整し、ドープン効率が 45% 以上でしかも良好なアニールが達成される新規のアニール方法を提案するものであり、パルス巾(1波高長)と(2170秒)が 70~780 において、

$$2.3 \times 10^{-3} t^{0.27} \leq \frac{(1-\bar{R}) \cdot E}{1410 - T_A} \leq 3.8 \times 10^{-3} t^{0.28}$$

この条件を維持することによるものである。

4. 図面の簡単な説明

第1図は、本発明に使用する閃光放電灯の一例の説明図、第2図は、本発明に使用するアニール炉の一側面部の概略の説明図、第3図は、ゲ-7の説明図である。1は、1対の電極、2は封筒に鉛、3は閃光放電灯、4は反射ミラー、5は試料台、6はウェハーである。

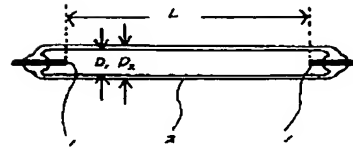
特許士 藤人

ウシオ電機株式会社

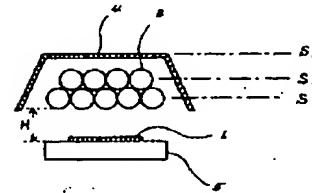


図面の浄書(内容に変更なし)

第 1 図



第 2 図



手 続 補 正 書 (自発)

昭和56年5月22日

特許庁長官 島田春樹 殿

〒特許庁審判官

1. 事件の表示

昭和56年 特許 願第46256号

2. 発明の名称

シリコン半導体のアニール方法

3. 補正をする者

事件との関係 特許 出願人

住所 〒100 東京都千代田区大手町2丁目6番1号

朝日東海ビル19階

名称 ウシオ電機株式会社

代表者 代表取締役 藤本大蔵

4. 補正により増加する発明の数

なし

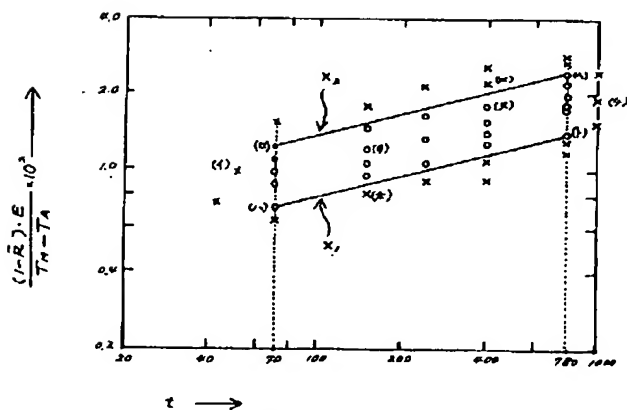
5. 補正の対象

(1) 明細書

(2) 図面

6. 補正の内容

- (1) 別紙の通り訂正します。
- (2) 別紙の通り浄書した図面を提出します。



第 3 図



(訂正) 明 細 書

1. 発明の名称

シリコン半導体のアニール方法

2. 特許請求の範囲

あらかじめ温度 T_A (℃)に予備加熱されたシリコン半導体を、閃光放電灯からの閃光照射でアニールするにあつて、シリコン半導体の反射率を \tilde{R} 、閃光のパルス巾($\frac{1}{2}$ 波高長)を ϵ (マイクロ秒)、シリコン半導体上における照射強度を E (ジュール/cm²)とした時、 ϵ が、 $70 \leq \epsilon \leq 780$ の範囲であつて、

$$2.3 \times 10^{-3} \epsilon^{0.27} \leq \frac{(1-\tilde{R})E}{1410-T_A} \leq 3.8 \times 10^{-3} \epsilon^{0.28}$$

なる関係が維持される条件でアニールすることを特徴とするシリコン半導体のアニール方法。

3. 発明の詳細な説明

本発明は、シリコン半導体のアニール方法に関する。

シリコン半導体を基板として、種々のIC、LSI等を製作する場合、不純物イオンとしてリン(P)、ホウ素(B)、ヒ素(As)等を高エネ

上記理由から、アニールための昇温エネルギーを全部閃光放電灯からの閃光照射によることを避け、あらかじめある温度まで予備加熱しておいて、比較的閃光照射の強度が小さくて済むような予備加熱方式(サーマルアシスト法)を併用し、更に、シリコン半導体の反射率も考慮したうえで閃光照射の強度を定めた方がよい。

ところで、反射率 \tilde{R} を有するシリコン半導体に、パルス巾($\frac{1}{2}$ 波高長) ϵ (マイクロ秒)の閃光でシリコン半導体上における照射強度 E (ジュール/cm²)を与えると、シリコン半導体の表面の上昇温度は、パルス巾がおおよそ50マイクロ秒以上では、近似的に次式で与えられる。

$$T_s(T) = \alpha \cdot (1-\tilde{R}) \cdot E \cdot \epsilon^b \quad (1)$$

式(1)において、 α はその物質の特定の温度における、熱伝導率、密度、比熱等で定まる定数、 $(1-\tilde{R}) \cdot E$ は、その物質に吸収された単位面積当りのエネルギーである。したがって、アニール温度の上限値を T_M 、予備加熱された温度を T_A とすると、閃光照射によって昇温してやればよい温度差

ルギーでイオン打ち込みすることが行なわれる。

この場合、良く知られているように、シリコン半導体に結晶損傷が生ずるので、このイオン打ち込み工程後、必ず結晶損傷回復のためのアニール工程を必要とする。

従来、このアニール工程では、電気炉法とレーザービーム法とが知られているが、いずれも実用上問題が多く、ごく最近では、閃光放電灯による閃光照射を利用することが検討されている。

閃光放電灯は周知の如く、一般には、ガラス製特殊なもので透光性セラミック製の封体バルブを有し、閃光照射の強度を大きくすると閃光放電灯の使用寿命が著しく短くなる欠点があるとともに、シリコン半導体の表面は平滑性を高くするために、鏡面加工されているので、したがって、反射率 \tilde{R} が大きいのでシリコン半導体上における照射強度を定めるだけでは、必ずしも良好なアニールは実行できない。例えば、ドーピング効率45%以上とすると実際にはかなりの困難をともなう。

$$T_M - T_A = \alpha \cdot (1-\tilde{R}) \cdot E \cdot \epsilon^b \quad (2)$$

の式で与えてよい。そして更に、式(2)を變形して α を α' 、 b を b' と置き替えると、

$$(1-\tilde{R}) \cdot E = (T_M - T_A) \cdot \alpha' \cdot \epsilon^{b'} \quad (3)$$

$$\text{もしくは} \quad \frac{(1-\tilde{R}) \cdot E}{T_M - T_A} = \alpha' \cdot \epsilon^{b'} \quad (4)$$

としてよい。

本発明は係る観点から、予備加熱温度、反射率、パルス巾、照射エネルギー等の要因を考慮したりえてドーピング効率が45%以上で、良好なシリコン半導体のアニール方法を提供することを目的としてなされたものであつて、その特徴とするところは、あらかじめ温度 T_A (℃)に予備加熱されたシリコン半導体を閃光放電灯からの閃光照射でアニールするにあつて、シリコン半導体の反射率 \tilde{R} 、閃光のパルス巾($\frac{1}{2}$ 波高長)を ϵ (マイクロ秒)、シリコン半導体上における照射強度を E (ジュール/cm²)とした時、 ϵ が $70 \leq \epsilon \leq 780$ の範囲であつて

$$2.3 \times 10^{-3} \epsilon^{0.27} \leq \frac{(1-\bar{R}) \cdot E}{1410 - T_A} \leq 3.8 \times 10^{-3} \epsilon^{0.28}$$

なる関係が維持される条件下でアニールすることにある。

以下図面を参照しながら本発明の実施例を説明する。

第1図は本発明に使用する閃光放電灯の説明図であって、1は一对の電極、2は封体バルブであって、アーク長 l は40mm、バルブ内径 D_1 は8mm、外径 D_2 は10mmの寸法を有する直管状のものを示す。この閃光放電灯3を、第2図に示すように、平面 S_1 内に5本、平面 S_2 内に4本、合計9本がチドリ状に密接して配置され、この9本の閃光放電灯群によって、約50mm×40mmの閃光面光源が形成されるように配置する。そして、平面ミラー4を、平面 S_2 に近接した平面 S_3 内に配置し、ヒーター等で予備加熱できるようにした試料台5を、光源から約10mm(=H)離間して配置して、全体をアニール炉として構成する。

第2図のアニール炉において、シリコン半導体のウエハー6は、試料台上に配置されることにな

るが、ウエハー上における照射強度 E (ジュール/cm²)及びパルス巾 ϵ (マイクロ秒)は、閃光放電灯に係給される電気入力及び電気回路条件を変えることによって、また予備加熱温度 T_A (℃)はヒーターの温度を変えることによって、種々の値を選択でき、アニール実験に供したウエハーは、結晶損傷の深さが大体0.2μm~1.0μm、ウエハーの厚みは、300μm~650μmのものをサンプルとしている。

第3図は予備加熱温度 T_A 、照射エネルギー E 、パルス巾 ϵ を変えて測定した多数の実験結果を、よこ軸を ϵ 、たて軸を $\frac{(1-\bar{R}) \cdot E}{T_M - T_A}$ として整理したものであって、×印はアニール不足または不良、○印はアニール良好を示し、 ϵ が70~780の範囲内で、直線 X_1 と X_2 との間の区域が、良好なアニールが出来ることを示している。そして、このデータの数値にもっともよく適合するように式(5)の定数 T_M および α' 、 β' を求め、 $T_M=1410$ (℃)、 X_1 における $\alpha'=2.3 \times 10^{-3}$ 、 $\beta'=0.27$ 、 X_2 における $\alpha'=3.8 \times 10^{-3}$ 、 $\beta'=0.28$ を決定した。又、反射率 \bar{R} は、次

式(5)で定義している。

$$\bar{R} = \frac{\int R(\lambda) \cdot I(\lambda) d\lambda}{\int I(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

ここにおいて、 λ は波長、 $R(\lambda)$ は λ における反射率、 $I(\lambda)$ は λ における閃光の強度である。
(第3図の数字(以下))

以下、個々のアニール実験の代表的例を説明する。

(イ)リンを加速エネルギー50KeVで、 5×10^{15} 個/cm²打ち込んだ、反射率 \bar{R} が0.45のウエハーを550℃に予備加熱しておき、このウエハーを、 $\epsilon=50$ 、 $E=15.6$ の閃光で照射した場合、ドーピング効率が40%となり、アニール不足が生ずる。同様に、 ϵ が50以下、その他予備加熱の温度、与える E を変えた実験でもドーピング効率が更に下がり、アニール不足が見られる。

(ロ)リンを加速エネルギー50KeVで、 2×10^{15} 個/cm²打ち込んだ、反射率 \bar{R} が0.46のウエハーを550℃に予備加熱しておき、このウエハーを、 $\epsilon=70$ 、 $E=20.0$ の閃光で照射した場合、ドーピング効率は90%である(アニール良好)。

付上記(ロ)と同じウエハーを、予備加熱500℃、 $\epsilon=70$ 、 $E=12.2$ の閃光で照射すると、ドーピング効率は50%であり、十分実用に供しうるものが得られる。

(ハ)ホウ素を加速エネルギー50KeVで、 5×10^{15} 個/cm²打ち込んだ、反射率 \bar{R} が0.41のウエハーを、 $\epsilon=400$ 、 $E=30$ の閃光で照射すると、ウエハーの表面が熔融して0.1~0.3μmの凹凸が生じ、表面クラックも発生する(アニール不良)。

(ニ)ヒ素を加速エネルギー100KeVで 2×10^{15} 個/cm²打ち込んだ、反射率 \bar{R} が0.39のウエハーを、予備加熱400℃として、 $\epsilon=150$ 、 $E=13.5$ の閃光で照射すると、ドーピング効率は42%と低い(アニール不足)。

(ホ)リンを加速エネルギー50KeVで 5×10^{15} 個/cm²打ち込んだ、反射率 \bar{R} が0.46のウエハーを、予備加熱540℃とし、 $\epsilon=780$ 、 $E=39.5$ の閃光で照射すると、ドーピング効率が100%にも達し、ウエハーの「ソリ」もなく、

特開昭57-162340 (8)

を600℃に予備加熱しておき、このウェハー
を、」と訂正する。